

L'énergie a toujours été nécessaire à l'homme pour vivre et assurer son développement économique. L'accroissement très important du niveau de vie de certains pays, depuis la révolution industrielle, est dû en grande partie à une utilisation massive des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz), sources d'énergie concentrées et bon marché. Ces combustibles représentent actuellement près de 80% de l'énergie primaire (c'est à dire avant transformation) consommée dans le monde. Cependant, la quantité de combustibles fossiles est finie et, au rythme auquel nous les consommons, ils deviendront bientôt rares.

Les ressources de pétrole conventionnel devraient se tarir peu avant celles du gaz naturel, restaurant pour un siècle ou deux le règne sans partage du charbon. Le dernier combustible fossile dont l'humanité disposera à grande échelle est donc la source d'énergie la plus polluante. S'il est possible de produire du pétrole de synthèse à partir du gaz naturel, du charbon ou de la biomasse pour compenser la disparition du pétrole conventionnel, à quels coûts et à quelles quantités le pourrons-nous? Bien sûr, il existe des ressources de pétrole non conventionnel (schistes bitumineux ou sables asphaltiques) et de *tight gas* pour le gaz naturel (gaz de houille ou gaz de schiste). Ces ressources nécessitent cependant plus d'énergie pour être exploitées et présentent des risques environnementaux plus prononcés.

La raréfaction progressive des hydrocarbures n'est pas le seul problème. L'utilisation des combustibles fossiles libère du gaz carbonique, ce qui intensifie l'effet de serre naturel. Ceci peut conduire à des modifications climatiques et avoir des conséquences significatives pour les sociétés humaines. Nous sommes donc confrontés à un double défi énergétique : apprendre petit à petit à nous passer des combustibles fossiles et réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère. Pour relever ces défis, il est nécessaire de disposer de solutions alternatives qui répondent à la demande d'énergie nécessaire aux besoins économiques. Cet ouvrage, initialement réalisé dans le cadre de l'association Écrin<sup>1</sup>, propose un point sur les sources d'énergie alternatives qui nous permettront d'évoluer sans sacrifier notre confort ou notre développement économique. Depuis la première édition, l'association Écrin a disparu, mais une partie des travaux effectués sont heureusement restés accessibles.

Dans le domaine énergétique, la production d'électricité, vecteur moderne de l'énergie, focalise souvent l'attention. Cette production ne représente pourtant qu'une petite partie de la consommation d'énergie primaire globale. Donnons quelques ordres de grandeur de la répartition de la consommation mondiale d'énergie primaire : environ 40% sont perdus lors de la transformation de l'énergie primaire en énergie finale; sur les 60% restants, l'électricité représente près de 10%, alors que 20% sont utilisés pour les transports et 30% prennent la forme de chaleur ou de froid.

Produire de l'électricité est assez facile, et il existe de nombreuses solutions plus ou moins coûteuses et performantes. Les transports reposent quant à eux à plus de 95% sur l'utilisation du pétrole. Cette dépendance est difficile à résoudre puisqu'il faudrait

1. Écrin (« Échange et coordination recherche-industrie ») était une association dont les membres fondateurs étaient le CEA (Commissariat à l'énergie atomique) et le CNRS (Centre national de la recherche scientifique). L'association avait pour objectif de rapprocher les laboratoires de recherche et l'industrie.

disposer d'un carburant alternatif ayant une grande densité d'énergie par unité de volume. Cette question est d'autant plus sensible qu'en termes d'impacts sur l'environnement, en particulier pour les émissions de gaz à effet de serre, les transports génèrent une pollution décentralisée. Enfin, on attache trop peu d'attention au secteur de la production de chaleur ou de froid, qui consomme pourtant beaucoup d'énergie et pour lequel des économies considérables sont possibles.

La demande d'énergie au niveau de la planète est poussée par deux facteurs : l'augmentation de la population mondiale et l'accroissement du niveau de vie des pays émergents, pour lesquels l'énergie est un enjeu de développement économique. S'il est nécessaire d'exploiter au mieux toutes les sources d'énergie (combustibles fossiles, énergies renouvelables et nucléaire), cela pourrait bien être insuffisant d'ici une cinquantaine d'années, et il faudra modifier notre manière de consommer l'énergie. Sobriété et efficacité énergétiques doivent être appliquées en priorité. D'ailleurs, le renforcement des énergies renouvelables ne peut se concevoir sans une bonne efficacité énergétique, ces sources d'énergie étant peu concentrées.

On pourrait penser que depuis le début de la révolution industrielle, l'humanité a réduit sa consommation d'énergies renouvelables au profit des combustibles fossiles pour assurer le développement de notre société. Il n'en est rien. Aujourd'hui, l'humanité consomme plus de cinq fois plus d'énergies renouvelables qu'il y a deux siècles, et la biomasse constitue la source principale d'énergie pour trois fois plus d'humains. Les besoins énergétiques augmentent donc régulièrement, et nous avons besoin de plus d'énergie aujourd'hui que nos ancêtres il y a deux siècles.

On constate que les pays développés utilisent principalement les combustibles fossiles, alors que les pays en développement utilisent beaucoup plus, en proportion, les énergies renouvelables. Ces dernières sont parfois qualifiées d'énergies nouvelles, mais sont bien loin de l'être. En effet, l'homme a commencé à les utiliser dès qu'il a domestiqué le feu, il y a environ 500 000 ans. À titre de comparaison, les combustibles fossiles ne sont utilisés à grande échelle que depuis deux siècles, et l'énergie nucléaire que depuis une cinquantaine d'années. L'histoire de l'humanité a donc été dominée par l'utilisation des énergies renouvelables. Leur faible densité énergétique, comparée aux énergies fossiles, et l'intermittence de certaines d'entre elles ont favorisé leur remplacement par des sources plus concentrées et plus compétitives économiquement. Bien que certaines énergies alternatives aient connu de fort taux de croissance ces dernières années, c'est l'hydraulique — pour la production d'électricité — et la biomasse — pour la production de chaleur — qui dominent actuellement les énergies renouvelables. Les autres sources n'interviennent que marginalement, en raison de leur coût et de leur intermittence. L'objectif de la recherche est donc de gommer ces limites. Malgré d'énormes progrès accomplis dans les dernières décennies, le problème est loin d'être résolu. Sans doute ces énergies alternatives occuperont-elles une place plus marquée dès la seconde moitié de notre siècle. D'autres énergies renouvelables devraient

être fortement développées, comme l'exploitation de la chaleur basse température présente dans l'air, l'eau ou le sol, dont on peut extraire les calories avec une pompe à chaleur.

Une grande partie de l'énergie utilisée dans les pays développés pour produire de l'électricité, et parfois de la chaleur, se fait dans des installations centralisées. Ces installations permettent de réduire les coûts tout en assurant des traitements antipollution qui sont hors de portée du simple particulier. En contrepartie, la centralisation nécessite un réseau pour distribuer l'énergie produite. Certaines énergies sont déjà décentralisées chez le consommateur final; c'est le cas du fioul, du solaire thermique ou de la biomasse, par exemple. Si la décentralisation peut être intéressante dans certains cas, elle implique une puissance installée plus importante qu'une installation centralisée puisque chaque particulier doit dimensionner son installation pour satisfaire ses besoins de pointe, alors qu'une installation centralisée tient compte du fait que tous les usagers n'ont pas besoin de la puissance maximale au même moment. La solution optimale pour répondre aux besoins futurs sera sans nul doute un mélange entre les installations centralisées et décentralisées.

Cet ouvrage aborde dans le détail, tout en restant accessible au plus grand nombre, le sujet des énergies alternatives en présentant leurs potentialités avec un état des lieux actuel. Il ne se limitera pas aux énergies renouvelables (solaire, éolien, biomasse, hydraulique, énergie des mers et géothermie), mais abordera aussi le problème du stockage de l'électricité dans les applications stationnaires, point essentiel pour une bonne exploitation des sources intermittentes. Le problème des transports sera évoqué au travers des véhicules hybrides, électriques et des transports en communs. Enfin, les problèmes liés à l'habitat et aux économies d'énergie ne seront pas oubliés. Ce travail a pu voir le jour grâce aux grandes compétences et à l'efficacité de Jean Bonal et Pierre Rossetti, qui ont investi beaucoup de leur temps pour coordonner, homogénéiser et réaliser cet ouvrage à partir des rédactions des différents contributeurs. Ces derniers ont mis tout leur talent et leurs compétences pour rédiger les sujets dont ils avaient la responsabilité et pour fournir de manière synthétique les informations récentes les plus pertinentes. Que tous soient remerciés pour la réalisation de cet ouvrage qui devrait être d'une grande utilité pour tous ceux qui s'intéressent à l'énergie.

Cette seconde édition est aussi l'occasion de rendre hommage à Patrick Jourde, qui nous a malheureusement quittés en octobre 2009. Il avait participé à la rédaction du chapitre sur le solaire et s'était investi énormément dans ce domaine qui aura une grande importance dans le futur. C'était un ingénieur d'une exceptionnelle compétence, d'une grande honnêteté intellectuelle mais très modeste. Il s'est toujours senti concerné par l'accès à l'électricité pour les habitants les plus pauvres de la planète et s'est beaucoup investi dans des actions pour rendre cet idéal possible. Tous ceux qui l'ont connu le regrettent beaucoup et son départ laisse un grand vide dans ce domaine du solaire où il excellait.

**Christian Ngô**

Edmonium (<[www.edmonium.fr](http://www.edmonium.fr)>)

Ancien Délégué général d'Écrin